

冬小麦根系对施肥深度的生物学响应研究^{*}

张永清

苗果园

(山西师范大学生命科学学院 临汾 041004) (山西农业大学农学院 太谷 030801)

摘要 施肥深度对冬小麦根系分布及后期衰老影响的根管栽培试验结果表明,施肥深度可改变不同土体中小麦根重及根系活性,较深层次(50~100cm)施肥有利于小麦根长增加和下层土壤中根重及根系活性的提高,同时可增加旗叶叶面积和净光合率,并使小麦根系 SOD 和 POD 活性保持较高水平,抑制过氧化产物 MDA 的产生,延缓根系及旗叶衰老,明显提高小麦产量。施肥过深(150cm)虽能诱导根系下扎,但小麦总根重和产量却均有所下降。

关键词 冬小麦 施肥深度 根系分布 生物学响应

Biological response of winter wheat root system to fertilization depth. ZHANG Yong-Qing (College of Life Science, Shanxi Normal University, Linfen 041004), MIAO Guo-Yuan (College of Agriculture, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China), *CJEA*, 2006, 14(4): 72~75

Abstract Effects of fertilization depth on root system distribution and senescence of winter wheat were studied on the Experimental Farm of Shanxi Agricultural University with a soil column culture. The results indicate that the root system distribution changes with fertilization depth. Fertilization in the depth of 50~100cm can lead to the increase of root weight, root vigor of sub-layer, flag leaf area and net photosynthesis ratio, meanwhile it keeps the activities of SOD and POD in root system at a high level. The content of MDA in wheat root system is decreased, and the senescence of wheat delays, the yield increases. The study also shows that super-deep (150cm) application of fertilizer has an inductive effect on root growing downwards also, but the total root weight and yield decreases sharply. It is suggested that the 50~100cm depth of fertilization could be used as an effective way to delay senescence and increase yield.

Key words Winter wheat, Fertilization depth, Root system distribution, Biological response

(Received April 16, 2005; revised July 4, 2005)

我国北方旱农地区,作物产量的形成和品质的提高在很大程度上取决于提高作物对土壤深层水分和养分的利用能力^[1,2]。而在提高深层土壤水分和养分资源利用效率的诸多途径中,改善根系的分布及增加根系的吸收能力是一个特别重要的环节^[2,3,8,9]。大量研究表明,根系的生长发育和分布除决定于遗传因子外,在很大程度上受水、肥等土壤环境条件的控制^[2,9]。因此,研究有利于促进根系下扎、扩大根系吸收面积及增大深层根系比重和活力的环境条件,寻求充分利用土壤深层蓄水,实现“以根调水”的农业措施,对保障干旱、半干旱地区作物的高产、稳产具有重要的现实意义。本试验采用根管土柱栽培的试验方法,研究扩展性深层施肥对小麦根系生物学的影响,以探讨通过改变施肥方式,增加下层土壤中根系生长、吸收能力及抗御灾害的可行性。

1 试验材料与方法

试验在山西农业大学农学院黄土作物生态研究所内进行,试验采用根管土柱栽培的方法。土柱由直径15cm、高200cm的聚乙烯塑料管内装土、砂与蛭石的混合物构成,3者的比例为3:1:1,所用土壤为2m以下生土,系黄土母质上发育而成的碳酸盐褐土。土壤、砂与蛭石混合物的养分含量为有机质2.4g/kg,全N 0.03g/kg,速效磷4.6mg/kg,速效钾102mg/kg。供试小麦品种为“农大189”。试验设0~50cm施无机肥(T1)、50~100cm施无机肥(T2)、100~150cm施无机肥(T3)、150~200cm施无机肥(T4)、0~50cm施有机肥(T5)、50~100cm施有机肥(T6)、100~150cm施有机肥(T7)、150~200cm施有机肥(T8)共8个处理,每处理重复9次。T1~T4处理每kg土壤分别施N 0.3g、P₂O₅ 0.2g、K₂O 0.3g,所用肥料分别为尿素、过磷酸

^{*} 山西省自然科学基金项目(991102和2006011086)资助

收稿日期:2005-04-16 改回日期:2005-07-04

钙和氯化钾;T5~T8处理每kg土壤施牛粪16.7g。肥料全部基施。9月25日播种,每柱留苗10株,各土柱随机排列在根室之中。冬前和小麦开花后20d各处理分别取3个重复,用切割机从根管中间剖开,分不同土层取根样。冬前主要调查次生根数、根长、根活力及地上部有关指标;花后主要测定根活力、SOD、POD活性和MDA含量,并测定地上部旗叶面积和净光合速率;收获时考种计产并测定不同土层的根重密度。根长测定采用数码相机照相,CIAS图像分析软件分析测量及水盘方格网法^[10];根系活力的测定用TTC法^[4];于上午10:00~12:00时每处理随机取20片旗叶,用美国产CI-301光合测定仪测定光合速率;丙二醛(MDA)含量的测定用硫代巴比妥酸法^[4];POD活性的测定用愈创木酚比色法^[5];SOD活性的测定用核黄素法^[5]。试验所得数据用SAS软件进行方差分析和多重比较。

2 结果与分析

2.1 施肥深度对越冬前小麦根系及地上部的影响

小麦冬前调查结果(表1)表明,表层(0~50cm)施肥处理小麦,因在萌芽后即得到了充足的养分供给,无论地下部次生根数、根活

表1 施肥深度对越冬前小麦根系和幼苗的影响

Tab.1 Effect of fertilization depth on wheat root and seedling at tillering stage

项 目 Items	NPK 肥施用深度/cm				有机肥施用深度/cm			
	Applied depths of NPK fertilizers				Applied depths of organic fertilizers			
	0~50	50~100	100~150	150~200	0~50	50~100	100~150	150~200
次生根数/条	7.5B*	7.0BC	5.8BC	5.5C	10.8A	7.3BC	5.8BC	5.8BC
根长/cm	51.6D	66.7AB	65.6AB	65.5AB	56.8CD	67.0AB	68.3A	61.8BC
根活力/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$	132.3AB	123.67C	101.2D	99.2D	136.5A	129.2BC	100.8D	100.2D
单株分蘖数/个	4.3AB	2.8CD	2.3D	1.8D	5.3A	3.5BC	2.0D	2.0D
株高/cm	15.6AB	15.5AB	14.1BCD	13.3D	15.9A	15.2AB	13.7CD	13.6D
单株绿叶数/个	14.0B	8.8D	7.5CE	5.8E	15.8A	11.5C	6.5E	6.3E

* 数据右侧字母表示处理间差异显著(0.01),下同。

力,还是地上部的单株分蘖、株高及单株绿叶数均明显高于其他处理,但根长明显低于其他处理。中层(50~100cm)施肥处理的小麦,刚开始时缺少营养,但由于根系可以靠种子提供的营养向下生长,很快即达到了施肥层,故其长势虽不如表层施肥处理,但根系的长度有明显增加。深层(100~150cm)与超深层(150~200cm)施肥处理小麦,因在越冬前根系未能到达有肥层,生长受到明显的影响。

2.2 施肥深度对不同土层中小麦根重和小麦总根长的影响

表2 施肥深度对不同层次土壤中小麦根干物质量的影响

Tab.2 Effect of fertilization depth on dry weight of wheat root in different soil layers

土层深度/cm Soil depth	小麦根干物质量/g Dry weight of wheat root							
	有机肥施用深度/cm				NPK 肥施用深度/cm			
	Applied depths of organic fertilizers				Applied depths of NPK fertilizers			
	0~50	50~100	100~150	150~200	0~50	50~100	100~150	150~200
0~10	1.88A	1.66B	1.34C	1.30C	2.31A	1.63B	1.61B	1.28C
10~20	0.36A	0.32A	0.34A	0.29A	0.79A	0.55B	0.51B	0.40B
20~30	0.31A	0.15C	0.23B	0.17C	0.77A	0.29B	0.32B	0.29B
30~40	0.29A	0.14B	0.18B	0.14B	0.80A	0.23B	0.24B	0.24B
40~50	0.29A	0.15B	0.15B	0.12B	0.73A	0.15B	0.23B	0.20B
50~60	0.15A	0.09A	0.11A	0.12A	0.72A	0.36B	0.24BC	0.15C
60~70	0.13B	0.30A	0.08C	0.10BC	0.55A	0.55A	0.24B	0.14B
70~80	0.13B	0.27A	0.07C	0.07C	0	0.50A	0.16B	0.12B
80~90	0.11B	0.28A	0.07C	0.06C	0	0.39A	0.16B	0.08B
90~100	0.06B	0.16A	0.07B	0.04B	0	0.22A	0.25A	0.05B
100~110	0.04B	0.13B	0.29A	0.05B	0	0.14B	0.47A	0.04C
110~120	0.04B	0	0.26A	0.04B	0	0	0.34	0.05
120~130	0.03	0	0.24	0	0	0	0.29	0.04
130~140	0.05	0	0.21	0	0	0	0.21	0
140~150	0	0	0.12	0	0	0	0.09	0
150~160	0	0	0	0	0	0	0	0
合计	3.88A	3.63B	3.76A	2.51C	6.62A	5.02B	5.05B	3.08C

多,总根量和表层根量均高于其他处理。但下层根量少,不利于吸收下层的水分。中下层(50~100cm)施肥的小麦到分蘖期和越冬期根系才能吸收到施肥层的养分,对冬前生长有一定的影响,但是冬春季节正是小

由表2可以看出,不同施肥深度和施肥种类处理,均能使施肥层次中小麦根系的重量显著增加,使根系分布的一般模式有所改变。表层(0~50cm)施肥,小麦出苗即得到施肥层的养料,又借助于晚秋温度尚高的有利时机,其苗期生长健壮,根系发育良好,并为进一步向下扩展奠定了有利的基础。因此,不仅表层(0~50cm)根量增多,而且NPK处理的中层(50~70cm)的根量也明显增

麦发根的主要时期,肥料对小麦根系的发展仍有很大作用,虽然上层根量有所减少,但中下部的施肥部位根量明显增多,形成根团,改变了小麦根系随土壤深度递减的分布规律,甚至下部土层中根重高于上层,进一步扩大了根系吸收范围,有利于对下层土壤中水分的吸收。超深层次施肥(150~200cm)小麦根系在整个生育期内都没能到达吸收部位,无论是根长还是根重均受到严重的影响。这跟前超深施肥的结论有所不同^[1],可能与试验所用土壤的养分含量有关。

2.3 施肥深度对不同土层中冬小麦根系活力及关键酶活性的影响

众多研究表明,下层根是小麦经济产量形成的功能根系^[6,8]。小麦花后 20d 根系活力测定结果(表 3)表明,小麦根系活性在不同深度土壤层次中的分布特征与根重分布明显不同,多呈下部根系活力大而上部根系活力小的倒“T”型分布。施肥深度对小麦根系活力具有明显的影响,在不同的层次中均表现出施肥处理明显高于无肥处理,下层施肥有利于提高下层根系的活力。由表 3 可知施肥有利于施肥层中根系 POD、SOD 活性的提高,花后 20d 不同深度土壤层次中根系 SOD、POD 活性均表现为施肥者显著高于未施肥者,超深层(150~200cm)施肥处理由于根系未达到施肥层,2 种酶的活性均表现为最低。表层(0~50cm)施肥处理小麦根系的 SOD 和 POD 活性在表层土壤中虽然也有所增高,但与中层施肥处理相比未达显著差异水平,而且在中下层土壤中均明显低于中下层施肥处理,说明肥料的适当深施有利于提高小麦整体根系的 SOD 和 POD 活性、降低小麦根细胞膜脂过氧化程度及保持膜的稳定性。表 3 结果还表明,超深施肥处理小麦根系的 MDA 含量在各土层中均明显高于其他处理。表层施肥处理上层土壤(0~50cm)中根系 MDA 含量与其他处理无明显差异,但下层土壤(50~100cm)中根系 MDA 含量却显著高于下层施肥处理,说明表层施肥处理小麦根系的衰老进程快于中下层施肥处理,适当深施肥料有利于延缓小麦根系的衰老进程。

表 3 施肥深度对小麦根系活力、MDA 含量及 SOD、POD 活性的影响

Tab.3 Effects of fertilization depth on root vigor, MDA content and the activities of SOD and POD of wheat root in different layers

项 目 Items	土层深度/cm Soil depth	有机肥施用深度/cm Applied depths of organic fertilizer				NPK 肥施用深度/cm Applied depths of NPK fertilizer			
		0~50	50~100	100~150	150~200	0~50	50~100	100~150	150~200
		根系活力 / $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$	0~50	35.83A	32.33B	31.50B	30.47B	38.37A	34.63B
	50~100	42.43B	48.70A	43.33B	39.80B	42.57D	59.77A	52.67B	48.43C
	100~150	61.10B	65.33B	73.83A	61.10B	—	69.67B	81.33A	63.27C
SOD 活性 / $\text{U}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$	0~50	252.37A	238.47AB	230.90B	233.80B	269.53A	248.70B	238.90B	230.63B
	50~100	272.83BC	341.60A	278.47B	260.77C	323.43B	379.83A	315.97B	308.67B
	100~150	292.77D	348.37B	465.00A	314.53C	—	349.67B	477.37A	339.70B
POD 活性 / $\text{U}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$	0~50	66.30A	57.23B	54.30B	54.97B	73.10A	63.53B	66.87B	65.20B
	50~100	74.07B	90.73A	76.33B	67.23B	70.13B	95.17A	74.07B	72.60B
	100~150	76.4B7	77.53B	94.93A	74.57B	—	84.03A	95.67A	82.50A
MDA 含量 / $\text{nmol}\cdot\text{g}^{-1}$	0~50	83.03B	84.87B	85.80B	91.13A	79.30B	85.73AB	86.97AB	89.97A
	50~100	74.10AB	65.83B	75.43A	76.77A	75.50A	63.80B	73.96A	79.40A
	100~150	60.87AB	55.00BC	49.17C	62.57A	—	57.27AB	51.47B	61.77A

2.4 施肥深度对小麦旗叶面积、净光合速率、旗叶 SOD、POD 活性及产量的影响

表 4 施肥深度对小麦旗叶面积、光合速率、旗叶 SOD、POD 活性、MDA 含量及产量影响

Tab.4 Effects of fertilization depth on flag leaf area, Pn, the activity of SOD and POD, the MDA content of flag leaf and yield of wheat

处 理 Treatments	旗叶面积/ cm^2 Flag leaf area	净光合速率 / $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ Pn	SOD 活性 / $\text{U}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ SOD activity	POD 活性 / $\text{U}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ POD activity	MDA 含量 / $\text{nmol}\cdot\text{g}^{-1}$ MDA content	产量 / $\text{g}\cdot\text{管}^{-1}$ Yield
T1	18.01±0.38B	12.29±0.45B	1092.63BC	108.87BC	121.17BC	18.30AB
T2	19.60±0.55A	13.46±0.70A	1172.50AB	121.43AB	106.67CD	20.27A
T3	19.90±0.72A	13.39±0.61A	1255.47A	127.13A	97.57D	20.67A
T4	15.96±0.64D	11.42±0.68B	1022.57C	99.23CD	136.50AB	11.27E
T5	17.62±0.85BC	11.95±0.56B	1032.93C	113.97AB	121.47BC	13.17DE
T6	17.10±0.66C	12.13±0.73B	1118.67BC	116.77AB	104.80CD	16.73BC
T7	16.81±0.92CD	12.04±0.91B	1052.33C	108.23BC	112.60CD	14.33CD
T8	16.09±0.65D	11.55±0.89B	901.77D	89.10D	138.57A	10.63E

表 4 表明,中下层施肥使小麦旗叶面积明显高于表层施肥处理和超深层施肥处理,旗叶净光合速率也表现出中层(50~100cm)施肥处理明显高于上层(0~50cm)和超深

(150~200cm)施肥处理小麦的规律。旗叶的 SOD、POD 活性及 MDA 含量均明显地高于根系,但其变化规律与根系基本一致,均表现为中下层施肥有利于提高 SOD、POD 活性和降低 MDA 含量,而表层施肥和超深层施肥不利于 SOD、POD 活性的提高和 MDA 含量的降低。农业措施的最终目标是为了产量的提高和品质的改善,由表 4 可以看出,由于较深层次施肥促进了小麦根系的下扎,提高了小麦根系的活力,扩大了根系的营养面积,延缓了小麦根系的衰老,并增强了小麦旗叶的光合作用,为小麦的高产创造了有利条件,因此,最终表现为产量显著提高。

3 小结与讨论

研究表明,通过改变施肥深度可以调节小麦根系在不同土层深度中的分布。施肥的土壤层次中小麦的根重较大,根长密度较高,根系活力也较大。较深层次(50~100cm)施肥有利小麦深层根重、根长密度及根系活力的提高,因此有利于小麦根系对较深层次土壤中水分和养分的利用。较深层次施肥还有利于提高小麦根系的 SOD、POD 活性,并降低 MDA 含量,从而可以延缓下层根系和整个植株的衰老。施肥深度不仅可以影响小麦根系分布和活力,而且可以影响小麦旗叶面积和光合速率,最终影响小麦的产量。在黄土高原干旱半干旱地区,小麦生产在很大程度上依赖于有限的土壤贮水,如果过早过快地消耗土壤底墒,势必会加重小麦后期的干旱^[7]。因此小麦根系生长的冗余现象成为了近年来根系研究的一个热点。本试验结果表明,根重及根长并不总是和产量成正相关的关系。表层施肥根重最大、次生根数最多,但产量并非最高;超深层施肥,小麦根长较长,但产量却最低。由此可见,在上年降水较少、土壤贮水量较小的情况下,适当地加深施肥的深度,减少前期根系过早生长和根系产生过多,最大限度地降低前期对底墒的消耗,通过减少冗余实现增产是可取的。当然,在条件允许的情况下(如土壤贮水较多或有灌溉条件),采取表层施肥与深层施肥相结合的方法,不仅使上层根系生长良好,而且促使下层根量增加,扩大吸收范围,增加下层根系的数量和活力,“以肥促根,以根调水”,提高下层土壤中水分的利用率,最大限度地实现增产的目的,才是最理想的措施。小麦苜蓿实行 3~4 年的轮作,是黄土高原半干旱地区小麦高产的传统技术。群众说,“3 年的苜蓿可长 3 年的好麦”,就是由于苜蓿根粗根长,为小麦残留了大量深层有机物质。本试验结果为这一传统技术提供了理论依据。

参 考 文 献

- 1 苗果园,高志强,张云亭等.水肥对小麦根系整体影响及其与地上部相关的研究.作物学报,2002,28(4):445~450
- 2 翟丙年,孙春梅,王俊儒等.氮素亏缺对冬小麦根系生长发育的影响.作物学报,2003,29(6):913~918
- 3 王法宏,王旭清,李松坚等.高产小麦生育后期不同层次土壤中根系活性的研究.作物学报,2001,27(6):891~895
- 4 张志良.植物生理学实验指导.北京:高等教育出版社,1990
- 5 王爱国,罗文华,邵从本.大豆种子超氧化物歧化酶的研究.植物生理学报,1983,9(1):77~84
- 6 王法宏,王旭清,李松坚等.小麦根系扩展深度对旗叶衰老及光合产物分配的影响.麦类作物学报,2003,23(1):53~57
- 7 段舜山,谷文祥,张大勇等.半干旱地区小麦群体的根系特征与抗旱性的关系.应用生态学报,1997,8(2):134~138
- 8 Barraclough P.B. Effect of compacted subsoil layer on root and shoot growth, water use and nutrient uptake of winter wheat. Agric. Sci. Camb., 1998, 110:207~216
- 9 Asseng S., Ritchie J.T., Smucker A.J., et al. Root growth and water uptake during water deficit and recovering in wheat. Plant and Soil, 1998,201(2):265~273
- 10 Bohm W.Z. Methods of Studying Root System. Verlag Berling: Springer,1979